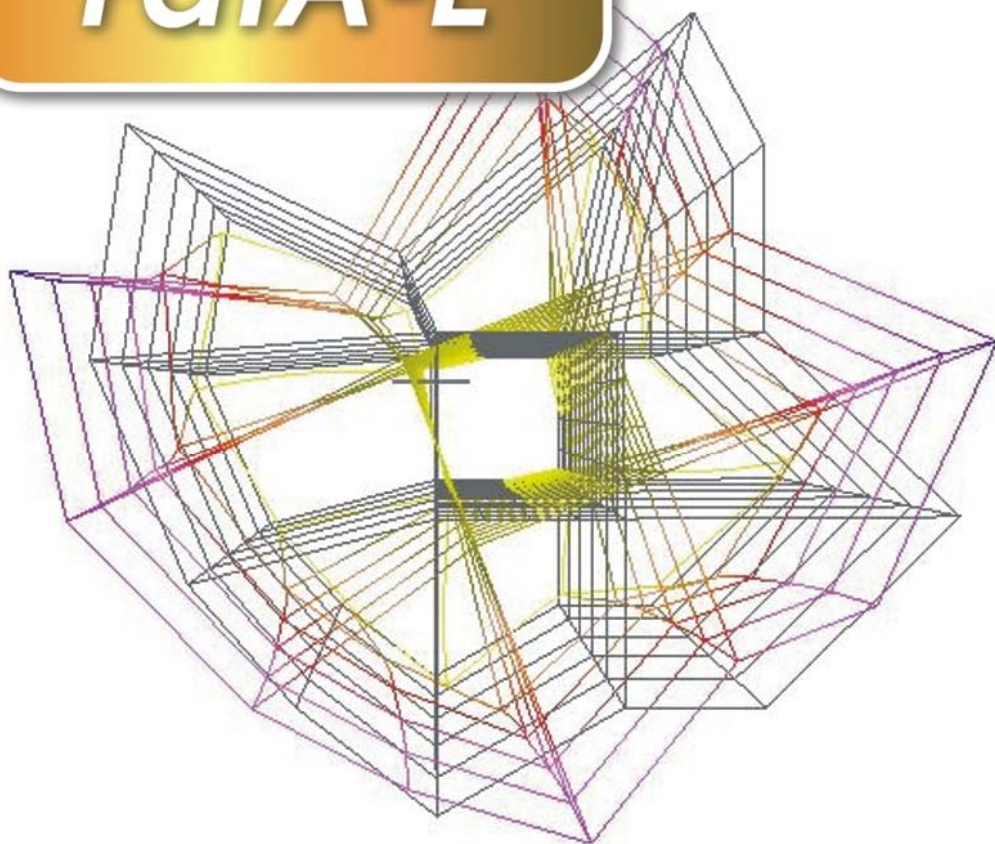
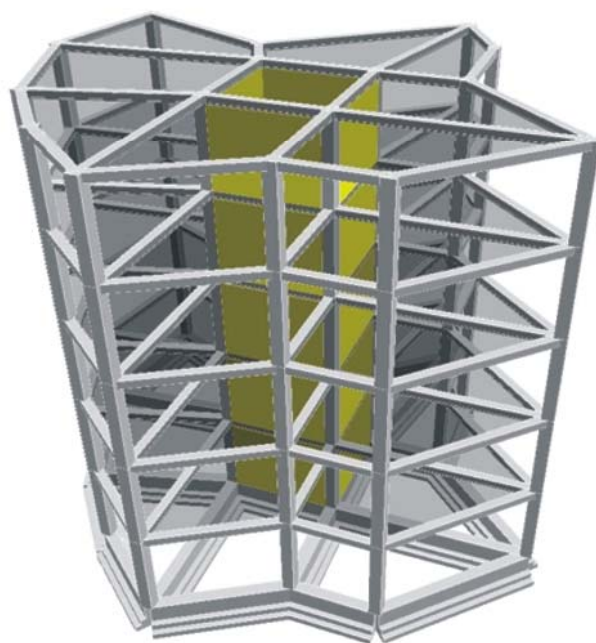


**Strutture deformabili torsionalmente:
analisi in FaTA-E**

FaTA-E



Strutture deformabili torsionalmente:
analisi in FaTA-E



Strutture deformabili torsionalmente: analisi in FaTA-E

Il comportamento dissipativo ideale è negativamente influenzato nel caso di strutture deformabili torsionalmente. Nelle Norme Tecniche ciò viene considerato riducendo il fattore di struttura di valori prossimi alla metà rispetto al caso di telai in c.a. a più piani e più campate.

Il paragrafo 7.4.3.1 delle NTC riporta:

- *strutture deformabili torsionalmente*, composte da telai e/o pareti, la cui rigidezza torsionale non soddisfa ad ogni piano la condizione $r/l_s > 0,8$, nella quale:

r^2 = rapporto tra rigidezza torsionale e flessionale di piano

$l_s^2 = (L^2 + B^2)/12$ (L e B dimensioni in pianta del piano)

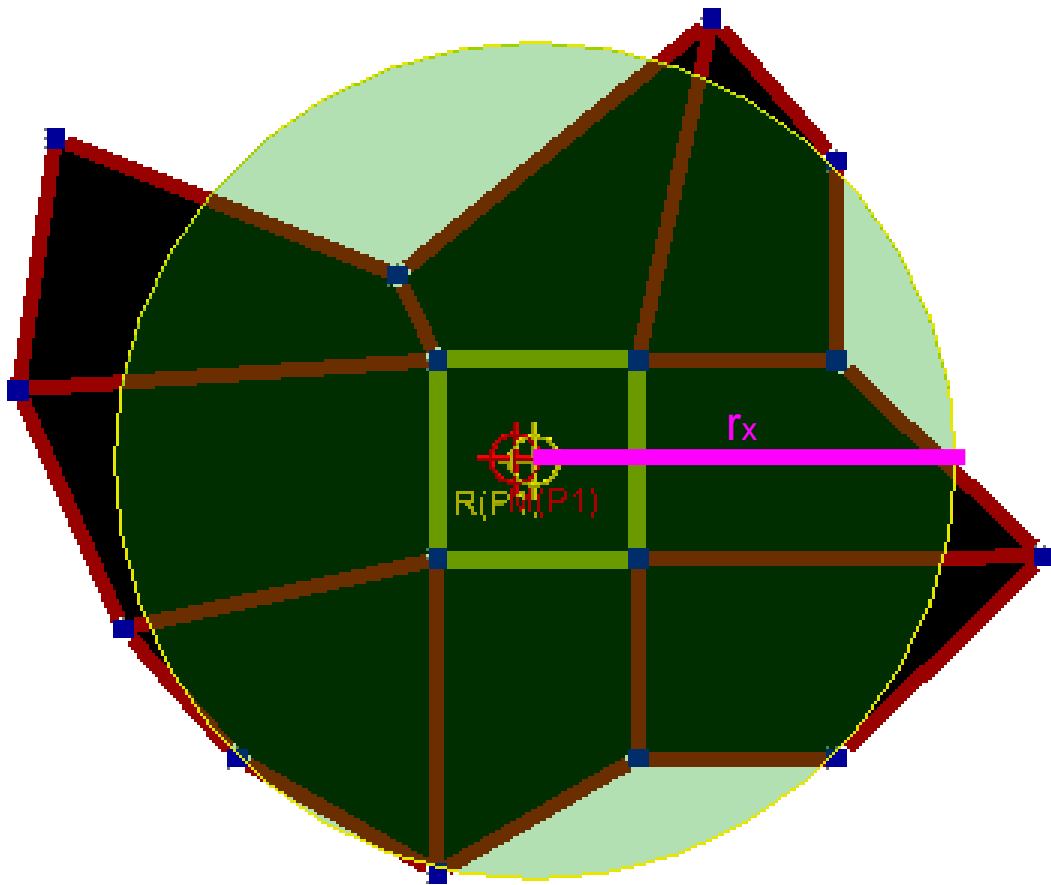
Il parametro r non è altro che il raggio dell'ellisse delle rigidezze, calcolato come:

$$r_x = \sqrt{\frac{K_T}{K_X}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{K_T}{K_Y}}$$

K_Y e K_X : rigidezza flessionale di piano nelle due direzioni

K_T : rigidezza torsionale di piano



La rigidezza di ogni singolo impalcato viene calcolata applicando a tutti i nodi dello stesso uno spostamento δ unitario dopo aver bloccato il corrispondente grado di libertà dell'impalcato sottostante in funzione della direzione di calcolo scelta.

La rigidezza sarà rappresentata dalla reazione R posta ai vincoli applicati per ogni impalcato.

Dopo l'operazione di assegnazione degli spostamenti imposti mediante le relative operazioni matriciali, la soluzione del problema viene ricondotto alla seguente moltiplicazione:

$$R = K \times U$$

Dove:

R : vettore delle forze

K : matrice di rigidezza

U : vettore degli spostamenti imposti.

Dal vettore delle forze vengono ricavate direttamente le rigidezze puntuali discretizzate.



E' importante notare che il calcolo delle rigidezze è influenzato dalla mesh con la quale la struttura è stata modellata.

La rigidezza torsionale viene calcolata applicando delle rotazioni unitarie all'intero impalcato.

La normativa, come in molte altre sue parti, da per scontato che le strutture siano regolari o addirittura a pianta rettangolare. Nel caso del parametro L_s la formula riportata nelle norme tecniche scaturisce da:

$$L_s^2 = \frac{I_{xy}}{A} = \frac{(L^2 + B^2)}{12}$$

$$I_{xy} = I_{xx} + I_{yy} = \frac{B \cdot L^3}{12} + \frac{L \cdot B^3}{12} = B \cdot H \frac{(L^2 + B^2)}{12}$$

$$A = B \cdot L$$

$$L_s^2 = \frac{I_{xy}}{A} = \frac{(L^2 + B^2)}{12}$$



E' importante notare che la formula riportata in normativa è valida per:

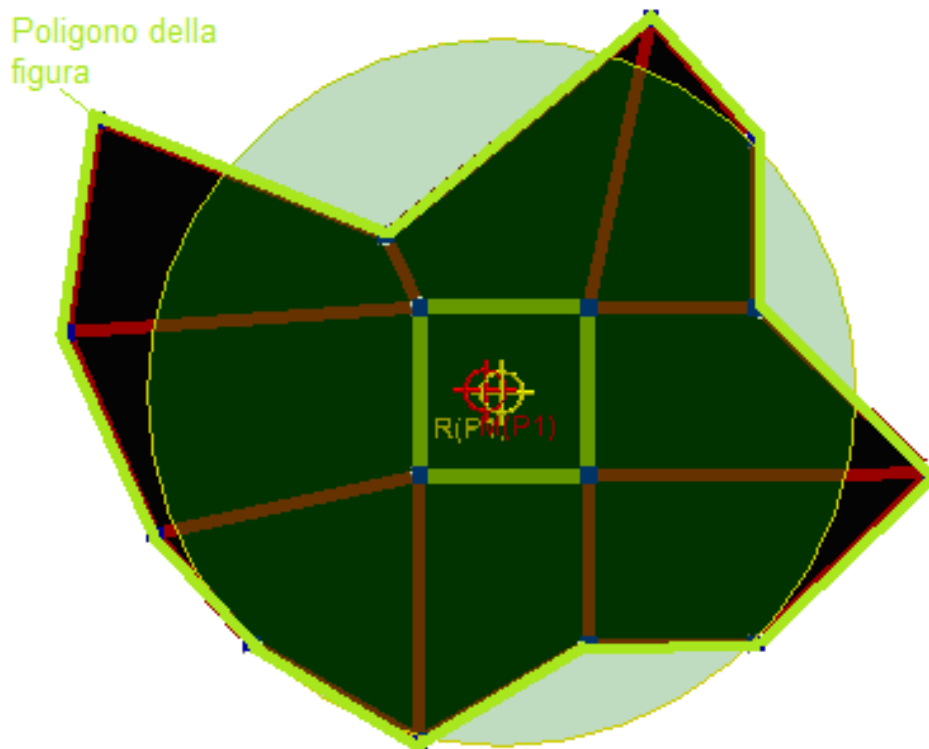
- Impalcati di forma rettangolare
- Distribuzione di massa uniforme

Le dimensioni L e B per forme diverse vengono calcolate sull'ingombro della struttura.

In particolare, nel caso di strutture a nucleo la distribuzione di massa potrebbe non essere uniforme per la presenza del nucleo in c.a..

Volendo migliorare l'applicazione della formula per il calcolo di L_s basterebbe calcolare le due inerzie I_{xx} e I_{yy} relativamente alla figura dell'impalcato:





Ciò comunque non rimuove l'ipotesi di distribuzione uniforme della massa.

Una formulazione più corretta è riportata nell'Eurocodice 8 al punto 4.2.3.2 (6):

I_s è il raggio giratore della massa del piano in pianta [radice quadrata del rapporto tra (a) il momento di inerzia polare della massa del piano in pianta rispetto al centro di massa del piano e (b) la massa del piano].

$$L_s = \sqrt{\frac{\sum_i m_i \cdot d_i^2}{M_{tot}}}$$

$$d_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$$

$$\Delta x = x_i - x_{CM}$$

$$\Delta y = y_i - y_{CM}$$

Tale formula consente di tenere in conto sia l'irregolarità di forma che di distribuzione di massa, in particolare anche dell'effettiva posizione di elementi non strutturali come i tamponamenti, presenti a volte in maniere non simmetrica in strutture a pianta rettangolare.

In FaTA-e è possibile utilizzare tale formulazione (EC8) selezionando il seguente campo:

Controllo regolarità

Esegui la verifica

Stima tipologia costruzioni in C.A.

Calcola Ls dall'effettiva distribuzione di massa

Controlla effetto imperfezioni (solo per strutture in acciaio)

Calcola coefficienti per non linearità geometrica

Visualizza i risultati anche se la verifica è positiva

Confrontiamo adesso i risultati e la classificazione della struttura per i due casi:

NTC2008:

- strutture deformabili torsionalmente, composte da telai e/o pareti, la cui rigidezza torsionale non soddisfa ad ogni piano la condizione $r/l_s > 0,8$, nella quale:

- Rig. X : rigidezza di piano in direzione X
- Rig. Y : rigidezza di piano in direzione Y
- Jr : rigidezza torsionale di piano
- r^2 : rapporto tra rigidezza torsionale e flessionale di piano
- Ls^2 : $(L^2 + B^2)/12$ (L e B dimensioni in pianta del piano)

Piano reale	Rig. X [daN/cm]	Rig. Y [daN/cm]	Jr [daNcm]	r	Ls	r/Ls	Esito
PR 1	1564396.84	1557414.87	1324014995808.16	919.97	729.28	1.26	V
PR 2	2571933.79	2535379.13	1331506396654.73	719.52	729.28	0.99	V
PR 3	4240156.84	4193830.70	1293390395840.68	552.30	729.28	0.76	NV
PR 4	5131003.45	5098102.63	1277991404415.00	499.07	729.28	0.68	NV
PR 5	5292981.06	5275257.55	1248022453944.00	485.58	729.28	0.67	NV

EC 8:

- strutture miste telaio-pareti, nelle quali la resistenza alle azioni verticali è affidata prevalentemente ai telai, la resistenza alle azioni orizzontali è affidata in parte ai telai ed in parte alle pareti, singole o accoppiate; se più del 50% dell'azione orizzontale è assorbita dai telai si parla di strutture miste equivalenti a telai, altrimenti si parla di strutture miste equivalenti a pareti.

- Azione. Vert. : sforzo normale agente a carichi verticali (NG1+NG2+NQ)
- Res. Or. : resistenza orizzontale a taglio degli elementi

Piano	Pilastri		Pareti	
	Res. Or. [daN]	Azione Vert. [daN]	Res. Or. [daN]	Azione Vert. [daN]
Piano 1	1020000.04	694662.08	1020000.04	394255.53
Piano 2	1020000.04	465866.71	1020000.04	445641.53
Piano 3	1020000.04	347059.56	1020000.04	332883.07
Piano 4	1020000.04	230331.35	1020000.04	221600.44
Piano 5	1020000.04	114126.75	1020000.04	109379.60

- Rig. X : rigidezza di piano in direzione X
- Rig. Y : rigidezza di piano in direzione Y
- Jr : rigidezza torsionale di piano
- r/Ls : rapporto tra i raggi giroscopici delle rigidezze e delle masse

Piano reale	Rig. X [daN/cm]	Rig. Y [daN/cm]	Jr [daNcm]	r/Ls
PR 1	1564396.84	1557414.87	1324014995808.16	1.61
PR 2	2571933.79	2535379.13	1331506396654.73	1.26
PR 3	4240156.84	4193830.70	1293390395840.68	0.96
PR 4	5131003.45	5098102.63	1277991404415.00	0.87
PR 5	5292981.06	5275257.55	1248022453944.00	0.82

Dai valori del rapporto r/Ls si nota che la formula più generale porta ad una diversa definizione del tipo di struttura.

Nell'ambiente ingegneristico si trovano altri metodi per analizzare la regolarità e la tipologia delle strutture. Nello specifico delle strutture deformabili torsionalmente è più importanti valutare i modi di vibrare anziché formule empiriche.

Una maniera alternativa è legata al rapporto delle frequenze dei modi di vibrare (vedi articolo: Torsional effects and regularity conditions in RC buildings – E. Cosenza, G. Manfredi, R. Realfonzo – 12WCEE 2000):

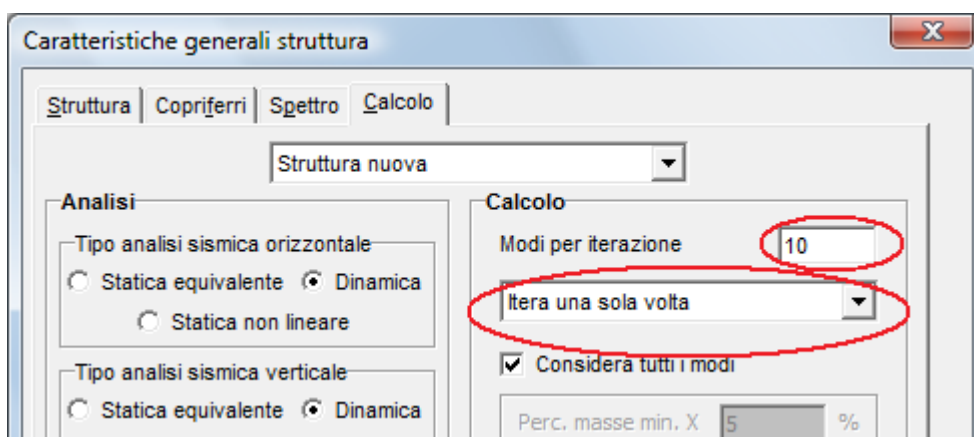
$$\Omega = \frac{\omega_g}{\omega_h}$$

ω_g : frequenza disaccoppiata torsionale

ω_h : frequenza disaccoppiata laterale

Una struttura deformabile torsionalmente presenta il rapporto $\Omega < 1$.

Applichiamo adesso il metodo modale alla nostra struttura di esempio. Per calcolare un determinato numero di modi di vibrare (ad esempio 10) impostiamo il calcolo con le seguenti opzioni:

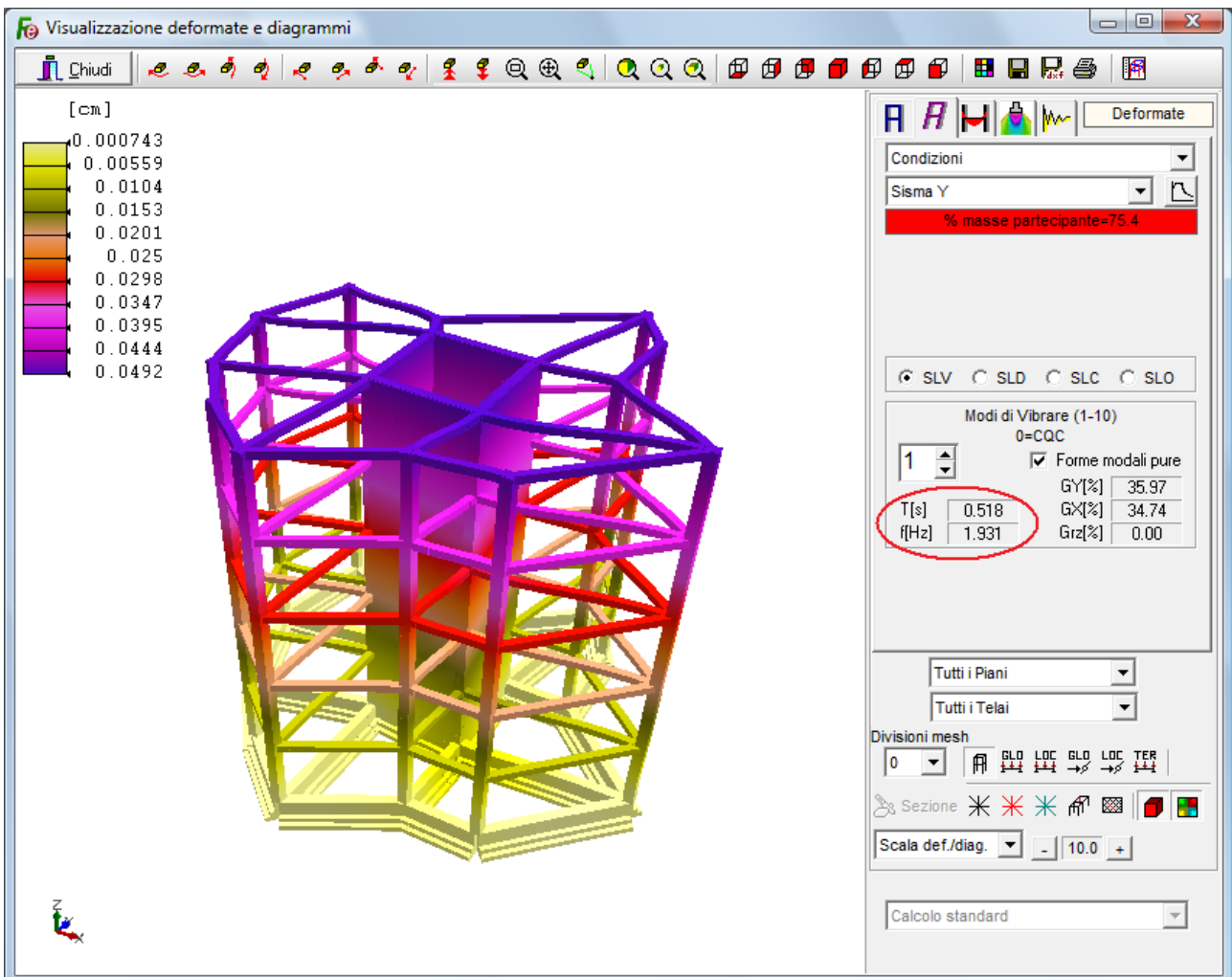


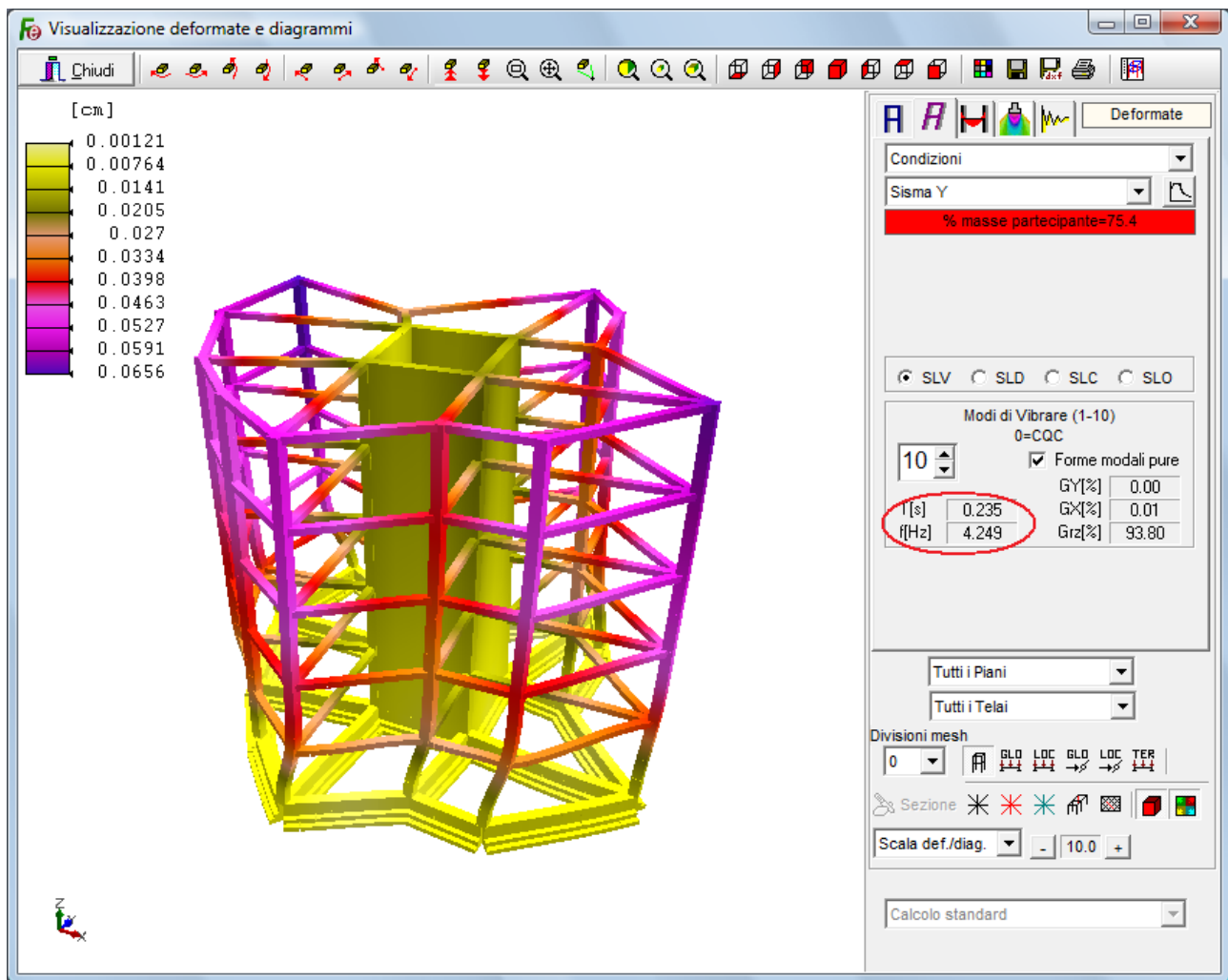
Per conoscere la sequenza e il tipo di modi stampiamo la scheda sintetica dei risultati NTC:



RIEPILOGO MODI DI VIBRARE

	Periodo [s]	Gamma	Coeff. _{MasseX}	Coeff. _{MasseY}	Coeff. _{MasseZ}	Coeff. _{MasseRX}	Coeff. _{MasseRY}	Coeff. _{MasseRZ}
	0.534	20.30	35.65	34.73	0.00	0.00	0.00	0.02
Modo di vibrare laterale →	0.518	20.04	34.74	35.97	0.00	0.00	0.00	0.00
Modo di vibrare torsionale →	0.235	0.29	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	93.80
	0.113	-0.17	0.00	0.00	45.37	0.00	0.00	0.00
	0.102	-0.13	0.00	0.08	11.16	0.00	0.00	0.00
	0.099	0.95	0.08	0.00	7.23	0.00	0.00	0.00
	0.098	0.66	0.04	0.00	11.48	0.00	0.00	0.00
	0.096	-0.15	0.00	0.02	4.13	0.00	0.00	0.00
	0.088	0.65	0.04	0.52	11.29	0.00	0.00	0.00
	0.083	7.05	4.30	4.12	1.68	0.00	0.00	0.00





Il rapporto $\Omega = \frac{\omega_g}{\omega_h} = \frac{4.249}{1.931} = 2.2$ conferma che la struttura non è torsionalmente flessibile:

una ulteriore conferma dell'eccessiva semplificazione delle norme tecniche. In questo articolo si evidenzia infine che le regole dettate dalle NTC2008 per stabilire le regolarità e la tipologia, sono solo indicative e non dovrebbero essere vincolanti, in quanto la scelta resta sempre di competenza del progettista.

